

# Document made available under the Patent Cooperation Treaty (PCT)

International application number: PCT/EP05/001456

International filing date: 14 February 2005 (14.02.2005)

Document type: Certified copy of priority document

Document details: Country/Office: DE

Number: 10 2004 043 191.4

Filing date: 03 September 2004 (03.09.2004)

Date of receipt at the International Bureau: 06 April 2005 (06.04.2005)

Remark: Priority document submitted or transmitted to the International Bureau in compliance with Rule 17.1(a) or (b)



World Intellectual Property Organization (WIPO) - Geneva, Switzerland  
Organisation Mondiale de la Propriété Intellectuelle (OMPI) - Genève, Suisse



**Prioritätsbescheinigung über die Einreichung  
einer Patentanmeldung**

**Aktenzeichen:** 10 2004 043 191.4

**Anmeldetag:** 03. September 2004

**Anmelder/Inhaber:** Markus Hund, 95447 Bayreuth/DE

**Bezeichnung:** Rastersondenmikroskop

**Priorität:** 20. Februar 2004 DE 10 2004 008 852.7  
19. August 2004 DE 10 2004 040 188.8

**IPC:** G 01 N 13/10

**Die angehefteten Stücke sind eine richtige und genaue Wiedergabe der ursprünglichen Unterlagen dieser Patentanmeldung.**

München, den 2. März 2005  
**Deutsches Patent- und Markenamt**  
**Der Präsident**  
Im Auftrag

A handwritten signature in black ink, appearing to read "Dzierzon", is placed over a horizontal line.

Anmelder: Markus Hund, Schlegelstraße 23, 95447 Bayreuth

Bezeichnung: Rastersondenmikroskop

### **Beschreibung**

- Die Erfindung betrifft ein Rastersondenmikroskop umfassend einen Grundrahmen, an dem ein Sondenhalter mit einer Sonde sowie ein Probenträger befestigt bzw. befestigbar sind, wobei Sonde und Probenträger relativ zueinander verfahrbar sind, um durch ein Abrastern einer auf dem Probenträger angeordneten Probe Informationen über die Oberfläche der Probe zu gewinnen.
- Derartige Rastersondenmikroskope sind Stand der Technik und haben die Auflösung von Strukturen im Ortsraum im Nanometerbereich ermöglicht. Anwendungsbereiche liegen beispielsweise in der Halbleitertechnik, in den Life Sciences, in Werkstoffwissenschaften sowie im durch die Rastersondenmikroskopie erst beflügelten Gebiet der Nanophysik.
- Die Aufgabe der vorliegenden Erfindung besteht darin, ein Rastersondenmikroskop sowie ein entsprechendes Verfahren zu schaffen, bei dem die Untersuchungsmöglichkeiten noch erweitert bzw. in ihrer Handhabung vereinfacht werden.
- Diese Aufgabe wird in vorrichtungstechnischer Hinsicht mit einem Rastersondenmikroskop nach den Merkmalen des Anspruches 1 und in verfahrenstechnischer Hinsicht mit den Merkmalen des Anspruches 17 gelöst. Vorteilhafte Weiterbildungen sind in den Unteransprüchen angegeben.
- Ein Kerngedanke der vorliegenden Erfindung besteht dabei darin, am Rastersondenmikroskop eine Reaktionskammer vorzusehen, innerhalb derer in gewünschter Weise auf die Probe eingewirkt werden kann, wobei vorherige und/oder anschließende Abtastvorgänge an der Oberfläche der Probe mittels der Sonde innerhalb der Reaktionskammer durchgeführt werden, wobei zu

- diesem Zweck die Reaktionskammer an ihrer der Sonde zugewandten Seite eine Öffnung aufweist, durch die die Sonde in die Reaktionskammer eintau-  
chen kann. Dabei kann in der im Rastersondenmikroskop integrierbaren Re-  
aktionskammer eine Einwirkung auf die Probe im unterschiedlichster Weise  
5 vorgenommen werden. Es ist beispielsweise vorstellbar, von der Probe, ins-  
besondere von deren Oberfläche Material schichtweise abzutragen. Alternativ ist es aber auch denkbar, auf eine Probe bzw. auf eine Grundstruktur Ma-  
terial schichtweise aufwachsen zu lassen, wobei in beliebigen Intervallen Ab-  
tastvorgänge zur Ermittlung der Oberflächeneigenschaften der jeweils er-  
10 reichten Struktur durchgeführt werden können. Anstelle des Aufwachsens oder Abtragens kann auch eine anderweitige gezielte Veränderung der Eigen-  
schaften der Probe bzw. der Probenoberfläche innerhalb der Reaktionskam-  
mer herbeigeführt werden und in Intervallen durch rastersondenmikroskopi-  
sche Abtastung verfolgt werden. Abhängig von der gewählten Art der Pro-  
15 benbehandlung, wie z.B. mit Gasen, kann die Probe auch während der ra-  
sternikroskopischen Abtastung behandelt werden (in-situ). Durch die Mög-  
lichkeit der Trennung von Probenbehandlung und rastersondenmikroskopi-  
scher Untersuchung der Probenoberfläche sind auch Behandlungen der Pro-  
be möglich, die sonst die Sonde verändern oder zerstören würden und eine  
20 nachteilige Beeinflussung der rastersondenmikroskopischen Untersuchung zur Folge hätten. So wird beispielsweise die Verwendung aggressiver Ätz-  
flüssigkeiten, wie Flusssäure, möglich. Die Probe kann auch durch ein elektro-  
magnetisches, elektrisches und/oder magnetisches Feld behandelt werden.  
  
25 Für die Reaktionskammer kommt in erster Linie eine zylindrische Grund-  
geometrie in Betracht. Es sind aber auch andere, insbesondere rotations-  
symmetrische Grundformen, wie beispielsweise eine Ellipsoid- oder eine  
Kugelform denkbar, wobei in jedem Fall an der Oberseite eine zum Eintritt  
der Sonde ausreichend groß bemessene Öffnung vorgesehen sein muss.  
30  
35 Die relative Verfahrbarkeit zwischen Sonde und Probenträger kann dadurch  
erzielt werden, dass die Sonde in einer Untersuchungsebene (x- und y-  
Richtung) fest gehalten wird und der Probenträger mit Hilfe eines in der Un-  
tersuchungsebene (x- und y-Richtung) verfahrbaren Probentisches verfahren  
wird. Alternativ kann auch der Probenträger ortsfest gehalten werden und  
die relative Verfahrbarkeit ausschließlich durch ein Verfahren der Sonde er-

zielt werden. Es ist auch denkbar, dass sowohl Sonde als auch Probenträger gegenüber dem Grundrahmen des Rastersondenmikroskopes nicht ortsfest sind sondern beide verfahrbar bzw. einstellbar ausgestaltet sind.

- 5 Die relative Verfahrbarkeit zwischen Sonde und Probenträger wird durch geeignete Nanopositioniereinrichtungen bzw. Rastereinrichtungen, wie beispielsweise Piezoröhren und/oder spezielle Rastereinheiten für die quantitative Rastersondenmikroskopie nach dem Stand der Technik bewerkstelligt. Die Rastereinheit (Scanner) ist bei erhältlichen Rastersondenmikroskopen
- 10 meist an eine Mikropositioniereinrichtung, beispielsweise an einen motorisierten Lineartisch gekoppelt, um zunächst eine grobe Annäherung der Sonde in z-Richtung an die Probenoberfläche zu bewerkstelligen (z.B. Modell Dimension® 3100 Firma Veeco). Zur groben Positionierung der Probe dienen verfahrbare Messtische (xy-Stage), die zweckmäßigerweise luftgelagert
- 15 sind, um eine möglichst reibungsfreie Bewegung zu ermöglichen. Beim Annäherungsvorgang, der oft vollautomatisch oder teilweise automatisiert ist, ist der luftgelagerte Tisch mit Hilfe von Vakuum fest auf die Grundplatte fixiert und bleibt bis zur nächsten groben Verfahrung fixiert. Bei Mikroskopen, die z.B. in Kombination mit einem optisch invertierten Mikroskop arbeiten (z.B. Modell MFP 3D®, Firma Asylum Research), wird die Rastereinheit durch einen xyz-Probenrastertisch (xyz-Sample-Scanning-Stage) gebildet, auf der die Probe gerastert wird. Solche Scanner weisen meist eine Öffnung (Apertur) auf und sind auf einem xy-Messtisch positioniert, der zur Positionierung im Mikrometerbereich (oder teilweise im Sub-
- 20 Mikrometerbereich) dient.
- 25

Zwischen dem Grundrahmen des Rastersondenmikroskopes und dem verfahrbaren Messtisch sind zweckmäßigerweise Schwingungsentkopplungsmittel wirksam. Beispielsweise kann der verfahrbare Messtisch gegenüber einer am Grundrahmen angeordneten Grundplatte luftgelagert, insbesondere als air bearing table ausgestaltet sein.

Nach einem besonderen Aspekt der vorliegenden Erfindung können herkömmliche verfahrbare Messtische (xy-Stages) eingesetzt werden, die dann

30 meist mit einem Chuck, umfassend eine Chuckbase und eine Chuckplatte, ausgestattet sind. Derartige Chucks sind beispielsweise in der GB 2122375 A

sowie der EP 1276145 A2 beschrieben und dienen der Halterung planarer Untersuchungsobjekte, wie beispielsweise Wafer-Scheiben. Gemäß dem vorteilhaften Aspekt der vorliegenden Erfindung kann bei einem herkömmlichen Rastersondenmikroskop die komplette Chuck-Anordnung aus dem 5 Messtisch (xy-Stage) entnommen und durch ein erfindungsgemäßes Reaktionskammermodul umfassend einen Reaktionskammer-Grundkörper, in der auch die Raktionskammer selbst angeordnet ist, ersetzt werden. Damit ist ein Reaktionskammer-Modul geschaffen, das sich auch zur Nachrüstung herkömmlicher Rastersondenmikroskope, die Chucks oder andere Mikroskopische 10 nach dem Stand der Technik aufweisen, eignet. Das Reaktionskammermodul kann insgesamt aus Metall, insbesondere aus Aluminium oder Edelstahl ausgebildet sein. Alternativ kann der Reaktionskammer-Grundkörper aus Metall, insbesondere Messing und die Reaktionskammer selbst aus Glas bzw. Glaskeramik gebildet sein. Weiter alternativ ist es auch möglich, das 15 gesamte Reaktionskammermodul, umfassend Reaktionskammer-Grundkörper und Reaktionskammer insgesamt aus Glaskeramik herzustellen.

Der Messtisch mit dem Reaktionskammermodul bestehend aus Reaktionskammer und Reaktionskammer-Grundkörper kann auch aus einem monolithischen Glaskeramik-Block gefertigt sein und eine integrale Einheit bilden. 20

Es versteht sich von selbst, dass auch andere Varianten zur Positionierung bzw. Verstellung der erfindungsgemäßes Reaktionskammer vorgesehen sein können ohne auf herkömmliche Messtische (xy-Stages) zurückzugreifen, beispielsweise kann die Reaktionskammer mittels Klemmvorrichtungen befestigt sein und eine Abrasterung ausschließlich durch Verfahren der Sonde 25 erfolgen.

In einer bevorzugten Weiterbildung der vorliegenden Erfindung ist eine Verschließeinrichtung, insbesondere eine Abdeckplatte oder ein Deckel vorgesehen, um die Öffnung nach Verbringung der Sonde aus einer Messposition  $P_M$  in eine zurückgezogene Probenvorbereitungsposition  $P_V$  verschließen zu 30 können.

Obwohl in vielen Anwendungen auch eine ausreichende Einwirkung innerhalb der Reaktionskammer auf die Probe bei geöffneter Öffnung erzielbar 35

ist, erscheint es letztlich wünschenswert, diese Öffnung zumindest bedarfsweise auch verschließen zu können. Hierfür kann eine Verschließeinrichtung nach Art einer Abdeckplatte oder eines Deckels über die Öffnung geschoben werden, wobei eine derartige Verschiebung insbesondere in einer translatorischen oder auch rotatorischen Bewegung erfolgen kann.

Nach einem besonders bevorzugten Aspekt der vorliegenden Erfindung sind Sonde und Reaktionskammer derart zueinander angeordnet, dass die zurückgezogene Probenvorbereitungsposition  $P_v$  ausgehend von einer vorzugsweise beliebigen Messposition durch Verfahren der Sonde oder der Probe ausschließlich in der zur x- und y-Richtung orthogonalen z-Richtung (senkrecht zur Oberfläche) erreichbar ist.

Durch diese Maßnahme wird das Problem der Repositionierung gelöst bzw. in erheblicher Weise vermindert. Dadurch, dass eine Trennung von Probe und Sonde vor gezielter Einwirkung auf die Sonde nur durch eine Verfahrtung senkrecht zur Oberfläche der Probe über eine kurze Verfahrstrecke erfolgt, ist gewährleistet, dass trotz einer eventuellen Drift von Sondenaktuatoren und/oder Aktuatoren eines Probentisches bei erneuter Annäherung der Sonde an die Probe die ursprüngliche Position relativ exakt wiedergefunden wird.

In einer bevorzugten Ausgestaltung des Rastersondenmikroskops ist die Anordnung so getroffen, dass die Verfahrstrecke der Sonde relativ zur Probe zwischen 1 mm und 15 mm, vorzugsweise zwischen 1 mm und 6 mm, insbesondere zwischen 1 mm und 3 mm beträgt. Die Verfahrstrecke wird bei einer unverschließbaren Reaktionskammer dadurch bestimmt, wieweit die Sonde aus dem Bereich der Öffnung der Reaktionskammer entfernt sein muss, um nicht selbst unerwünschten Einwirkungen ausgesetzt zu sein.

Bei einer Reaktionskammer, an der eine Verschließeinrichtung vorgesehen ist, wird die Verfahrstrecke durch die Stärke einer Abdeckplatte oder eines Deckels einem Sicherheitsabstand zwischen Abdeckplatte bzw. Deckel und Sonde in der Probenvorbereitungsposition  $P_v$  und einem Abstand der Oberfläche der Probe hin zur Innenseite der Abdeckplatte bzw. des Deckels bestimmt.

- In einer konkreten Ausgestaltung weist die Reaktionskammer weiterhin mindestens einen Einlass auf, um fluide Medien, wie Flüssigkeiten, Gase, Partikelströme und/oder ein Plasma in die Reaktionskammer einzuleiten. Die Reaktionskammer kann so in gewünschter Weise mit fluiden Medien, wie Flüssigkeiten, Gasen und/oder einem Plasma beschickt werden, um eine gewünschte Veränderung der Probe zu bewirken.
- In einer weiter bevorzugten Ausgestaltung ist neben dem mindestens einen Einlass auch ein Auslass vorgesehen, der mit einer Saugeinrichtung in Wirkverbindung steht, um Flüssigkeiten, Gase, Partikelströme und/oder Plasmen über den Einlass durch die Reaktionskammer hindurchzuführen. Durch die Saugeinrichtung wird eine günstige Einströmung der fluiden Medien bzw. eine günstige Steuermöglichkeit des Fluidstromes geschaffen.
- In einer konkreten Ausgestaltung kann an oder in der Reaktionskammer eine Plasmaerzeugungseinrichtung angeordnet sein, um innerhalb der Reaktionskammer ein Plasma erzeugen zu können. Ein derartiges Plasma kann insbesondere Verwendung finden, um einen Plasmaätzvorgang an der Oberfläche der Probe zu bewirken. In einer konkreten Weiterbildung ist die Plasmaerzeugungseinrichtung zur Erzeugung eines Plasmas auf induktivem Wege ausgebildet.
- In einer bevorzugten Ausgestaltung umfasst die Plasmaerzeugungseinrichtung eine Flachspule, bei der alle Wicklungen im wesentlichen in einer Ebene angeordnet sind, sowie einen Kondensator, der radial-symmetrisch oder planar aufgebaut ist.
- In einer weiteren Ausgestaltung der vorliegenden Erfindung sind an der Reaktionskammer mindestens zwei gegenpolige Elektroden vorgesehen, um einen kapazitativen Energieeintrag zu erwirken. Dies kann z. B. beim Reactive-Ion-Etching-Verfahren (RIE), das vor allem in der Halbleiterindustrie verwendet wird, zum Einsatz gelangen. Der kapazitative Energieeintrag kann allein oder in Kombination mit zusätzlichen Einwirkungen auf die Probe erfolgen, wie beispielsweise einer zusätzlichen Energieinkopplung durch Mikrowellen. Eine Downstream-Plasmaätzwirkung kann dadurch erzielt wer-

den, dass eine perforierte Abschirmelektrode unterhalb der Probe in die Reaktionskammer eingesetzt wird. Der Auslass wird möglichst weit nach oben (Richtung Probe) verschoben.

- 5 Nach einem bevorzugten Aspekt der vorliegenden Erfindung weist die Reaktionskammer für typische Probengrößen bzw. Probenflächen ein Volumen zwischen 1 cm<sup>3</sup> und 10 cm<sup>3</sup>, vorzugsweise zwischen 2 cm<sup>3</sup> und 5 cm<sup>3</sup> auf. Für größere Probenflächen von 40 mm x 40 mm beträgt das Volumen bevorzugtermaßen ca. 300 cm<sup>3</sup>.

10

Um die Probe erden bzw. auf ein gewünschtes elektrisches Potential setzen zu können, ist ein Leiter in die Reaktionskammer geführt bzw. in die Reaktionskammerführbar zur Kontaktierung der Probe.

- 15 Nach einem weiteren vorteilhaften Aspekt der vorliegenden Erfindung kann die Reaktionskammer noch eine Probenheiz- und/oder Probenkühlvorrichtung umfassen. Eine Probenheizungsvorrichtung innerhalb der Reaktionskammer kann beispielsweise als heizbares miniaturisiertes Platin-Mikroheizelement oder als eine kommerziell erhältliche Heizpatrone ausgebildet sein. Ein Heiz- und/oder Kühlelement kann auch durch ein Peltier-20 element gebildet sein.

Die Temperatur der Probe ist bei einer solchen Ausführungsform einstellbar. Miniaturisierte Probenheizungsvorrichtungen, die z.B. mit integriertem

- 25 Temperaturfühler ausgerüstet sind, sind Stand der Technik (z.B. nanoScope® Heatersystem, Model HS-1, Firma Veeco). Sie können den Probenträger ganz oder teilweise ersetzen. Alternativ kann z.B. ein Platinmikroheizer oder ein anderer Heizer in den Probenträger integriert werden.

- 30 Als erfindungswesentliche Einheit wird auch ein Reaktionskammermodul zum Einbau in ein Rastersondenmikroskop nach der Erfindung unabhängig beansprucht.

- 35 Als erfindungswesentliche Einheit wird auch ein Reaktionskammermodul mit einem geeigneten Messtisch zum Einbau in ein Rastersondenmikroskop, insbesondere in Rastersondenmikroskope, angesehen, die es ermöglichen die

Umgebungsbedingungen, wie z.B. die Luftfeuchtigkeit und andere Parameter einzustellen (z.B. das Rastersondenmikroskopmodell EnviroScope® Firma Veeco).

- 5 Das Verfahren zur Behandlung und Untersuchung von Oberflächen einer Probe mit Hilfe einer Sonde eines Rastersondenmikroskops und einer in das Rastersondenmikroskop eingebauten Reaktionskammer umfasst die folgenden Schritte:
- 10 Durchführen einer ersten rastersondenmäßigen Untersuchung eines Bereiches einer Oberfläche einer in einer geöffneten Reaktionskammer angeordneten Probe, Zurückziehen der Sonde in einer zur Oberfläche senkrechten Richtung um eine definierte Verfahrstrecke  $S$  aus ihrer Messposition  $P_M$  in eine Probenvorbereitungsposition  $P_V$ , Behandlung der Oberfläche innerhalb der Reaktionskammer durch zielgerichtete Einwirkung einer Flüssigkeit, eines Gases, eines Partikelstromes und/oder eines Plasmas über eine vorbestimmte Reaktionszeit, Rückführen der Sonde aus der Probenvorbereitungsposition  $P_V$  in die vorhergehende Messposition  $P_M$  bzw. in eine neue Ausgangsposition  $P_A$  in unmittelbarer Nachbarschaft zur vorherigen Messposition.

- 25 Dabei ist es erfindungsgemäß unerheblich, ob eine erste rastersondenmäßige Untersuchung eines Bereiches einer Oberfläche der Probe vor Behandlung der Probe in der Reaktionskammer oder erst nach Behandlung der Probe in der Reaktionskammer durchgeführt wird. In jedem Fall lässt sich das Verfahren nach einem bevorzugten Aspekt der Erfindung iterativ wiederholen und so eine sukzessive Abfolge Probenbehandlung-Messung-Probenbehandlung-Messung-etc. durchführen. Es kann hierbei insbesondere ein Schichtabtragen oder auch ein Schichtaufwachsen verfolgt werden.

- 30 In einer zweckmäßigen Weiterbildung des vorliegenden Verfahrens wird die relative Verfahrung zwischen Sonde und Probe so bewerkstelligt, dass vorhergehende Messposition  $P_M$  und neue Ausgangsposition  $P_A$  weniger als 400 nm vorzugsweise weniger als 200 nm, insbesondere weniger als 150 nm auseinanderliegen.

Nach einem weiteren Aspekt der vorliegenden Erfindung wird die relative Verfahrung zwischen Sonde und Probe so bewerkstelligt, dass die vorhergehende Messposition  $P_M$  und die Ausgangsposition  $P_A$  weniger als 0,1 %, vorzugsweise weniger als 0,006 % der Verfahrstrecke  $S$  auseinanderliegen.

5

Es hat sich insbesondere gezeigt, dass bei einer typischen Probenbehandlung durch Niederdruckplasma die vorherige Messposition  $P_M$  und die neue Ausgangsposition  $P_A$  nach jedem Behandlungsschritt um jeweils 40 nm zunimmt bzw. wesentlich unter 40 nm zunimmt, vorzugsweise sogar im Sub-  
10 Nanometerbereich zunimmt.

In einer speziellen Weiterbildung des Verfahrens ist vorgesehen, dass vor Behandlung der Oberfläche die Reaktionskammer verschlossen und vor Rückführung der Sonde erneut geöffnet wird, um das Eintauchen der Sonde  
15 in die Reaktionskammer zu ermöglichen.

Nach einem weiteren Aspekt des erfindungsgemäßen Verfahrens wird ein Plasma im Volumen der Reaktionskammer oder in einer Nebenkammer mit vergleichbar großem Volumen, insbesondere in einem Volumen von 1  $\text{cm}^3$   
20 bis 10  $\text{cm}^3$  gezündet und betrieben. Dies lässt sich beispielsweise mit der bereits beschriebenen Flachspule sowie dem planar bzw. radial symmetrisch aufgebauten Kondensator erreichen.

Derzeit erhältliche Plasmaätzanlagen sind dagegen für den stationären Betrieb und für große Proben (z.B. Silizium-Wafer mit einem Durchmesser von 6 Zoll) und hohen HF-Leistungen (typisch: mehrere 100 W) dimensioniert.  
25 Im Gegensatz zu den meist für die Erfordernisse der Halbleiterindustrie beschriebenen Vorrichtungen und Verfahren wird hier vorrichtungs- und verfahrenstechnisch das Zünden und Betreiben von kleinen Plasmen ermöglicht, wie es insbesondere für die hier vorliegenden mikroskopischen Anwendungen zweckmäßig ist.

Die Reaktionskammer wird optional an ein Plasmamonitoringssystem nach dem Stand der Technik mit Hilfe eines Lichtwellenleiters und eines Sensors angeschlossen. Solche Systeme analysieren das vom Plasma emitierte Licht. Da insbesondere zum Zünden des kleinen Plasmas eine größere Leistung als  
35

zum Betrieb erforderlich ist und nach erfolgter Leistungseinkopplung bis zur eigentlichen Zündung des Plasmas Verzögerungszeiten auftreten können, kann der Lichtpuls beim Zünden genutzt werden, um automatisch auf die Betriebsleistung umzuschalten und definierte Behandlungszeiten zu gewährleisten. Zusätzlich kann mit Hilfe eines Plasmamonitoringssystems eine ereignisorientierte, automatisierte Anpassung der Betriebsparameter, insbesondere der eingekoppelten Leistung und eine Fehlerdiagnose bewerkstelligt werden.

Die Erfindung wird nachstehend auch hinsichtlich weiterer Merkmale und Vorteile anhand der Beschreibung von Ausführungsbeispielen und unter Bezugnahme auf die beiliegenden Zeichnungen näher erläutert.

Hierbei zeigen:

15 FIG 1 eine erste Ausführungsform eines Rastersondenmikroskops mit Reaktionskammer in einer skizzenhaften Schnittansicht

20 FIG 2 eine perspektivische Prinzipansicht eines Rastersondenmikroskops mit Reaktionskammermodul umfassend eine Reaktionskammer sowie einen Reaktionskammergrundkörper

FIG 3a bis 3e verschiedene Ausführungsformen einer Reaktionskammer mit Abdeckplatte

25 FIG 4a bis 4g verschiedene Ausführungsformen zur Platzierung eines Probenträgers innerhalb einer Reaktionskammer

FIG 5a und 5b eine mögliche Ausführungsform einer bevorzugten Plasmaverzeugungseinrichtung

30

In FIG 1 sind schematisch ein Grundrahmen 11 sowie ein Sondenhalter 12 eines Rastersondenmikroskops veranschaulicht. Am Sondenhalter 12 ist eine Sonde 13 angeordnet. Auf dem Grundrahmen 11 ist ein Reaktionskammermodul 29, das einen Reaktionskammer-Grundkörper 27 umfasst, in einer Untersuchungsebene (xy-Ebene) verfahrbar angeordnet. Alternativ oder zusätzlich ist hier zwischen Sondenhalter 12 und Grundrahmen 11 eine Mikro-

- positioniereinrichtung 42 zur Grobpositionierung vorgesehen. Zwischen Mikropositioniereinrichtung 42 und Sondenhalter 12 ist weiterhin eine Rastereinheit 43 vorgesehen, um eine Abrasterung der Probe vornehmen zu können. Zusätzlich kann zwischen dieser Rastereinheit 43 und der Mikropositioniereinrichtung 42 auch noch ein Aktuator 41 in Form eines Piezoaktuators vorgesehen sein, der mit der Genauigkeit eines Piezo-Verstellmechanismus dennoch größere Verstellwege in z-Richtung (bis zu wenigen mm) vornehmen kann.
- 10 Im Reaktionskammer-Grundkörper 27 ist dabei eine Reaktionskammer 16 aufgenommen. Die Reaktionskammer 16 weist hier eine zylindrische Wand aus Glas, insbesondere aus mechanisch bearbeitbarer Glaskeramik auf. Innerhalb der Reaktionskammer 16 ist ein Probenträger 14 vorgesehen. Der Probenträger kann prinzipiell beliebig geformt sein und kann sogar als Elektrode dienen (nicht gezeigt). Er ist jedoch vorzugsweise zylinderförmig und besteht aus Glaskeramik. Er kann separat innerhalb des zylindrischen Grundgefäßes der Reaktionskammer befestigt oder integral mit ihr ausgebildet sein (vgl. FIG 4a bis 4g).
- 15 Auf dem Reaktionskammermodul 29 und dem Messtisch 26 ist eine Plasmaerzeugungseinrichtung 22 angeordnet. Im einfachsten Fall besteht sie im Wesentlichen aus einer Flachspule 23 sowie einem Kondensator 30 (vgl. FIG 5a und FIG 5b). Die analoge Hochfrequenzschaltung kann auch durch ein miniaturisiertes vorzugsweise planares Hochfrequenzsystem, das mit Frequenzen im Mikrowellenbereich arbeitet (microwave integrated circuits), ersetzt werden.
- 20 Über die Plasmaerzeugungseinrichtung 22 kann in der Reaktionskammer 16 ein Plasma erzeugt werden, um die Oberfläche einer Probe in gezielter Weise zu bearbeiten, insbesondere schichtweise abzutragen.
- 25 Um eine gewünschte Substanz, insbesondere zur Erzeugung eines Plasmas in die Reaktionskammer 16 einzuleiten, weist diese einen Einlass 20 auf. Über einen Auslass 21 kann die Substanz ggf. in modifizierter Form, insbesondere nach einem Plasmaprozess ggf. zusammen mit von der Probe abgetragener Substanz abgeführt werden.

Um eine besonders intensive Einwirkung einer Substanz, insbesondere eines Plasmas auf die Probe zu gewährleisten, lässt sich die Reaktionskammer 16 nach einem besonderen Aspekt der vorliegenden Erfindung mittels einer Abdeckplatte 18 verschließen. Die Abdeckplatte schließt die Reaktionskammer 16 möglichst vollständig ab, wobei es auf eine besonders dichtende Verschließung nicht bei allen Reaktionsprozessen in gleicher Weise ankommt.

Gemäß einem wesentlichen Hauptaspekt der vorliegenden Erfindung wird allerdings die am Sondenhalter 12 befestigte Sonde 13 gerade soweit aus der Reaktionskammer 16 zurückgefahren, dass die Abdeckplatte 18 ohne Beschädigung der Sonde 13 die Reaktionskammer 16 verschließen kann. Wird die Abdeckplatte 18 entsprechend schmalbauend ausgeführt und ein nicht zu hoher Sicherheitsabstand zwischen Abdeckplatte und Sonde 13 gewählt, so lässt sich eine relativ kurze Verfahrstrecke in z-Richtung für die Sonde 13 erzielen. Eine derart geringe Verfahrstrecke bringt den entscheidenden Vorteil mit sich, dass eine Repositionierung der Sonde 13 auf dem zuvor untersuchten Bereich der Probe verlässlich vorgenommen werden kann bzw. Abweichungen bei der Repositionierung äußerst gering sind.

- 20 Herkömmlicherweise war das Repositionieren mit erheblichem Aufwand, Fehlerquellen und Unsicherheiten behaftet. Es mussten eine Vielzahl von Aufnahmen in unterschiedliche Maßstabsbereichen zum Teil unter zusätzlicher Nutzung von optischen Mikroskopen vorgenommen werden, um später - oft nach längerem Suchen - aufgrund des Vergleichs ähnlicher Topographieverhältnisse oder anderer Signale den gleichen Spot wieder auffinden zu können. Die vorliegende Erfindung schafft hier auf einfache Weise Abhilfe, nämlich dadurch, dass die Verfahrstrecken äußerst klein und damit resultierende Fehler, Driften etc. ebenfalls äußerst gering sind.
- 25 Aufgrund der geringen Fehler kann evtl. auf eine Korrektur (manuell oder automatisch) ganz verzichtet werden, da nach dem Stand der Technik hohe Datendichten selbst bei größeren Rasterflächen möglich sind und somit interessierenden Details zugänglich sind ohne zeitaufwendiges nochmaliges Rastern bei kleineren Rasterflächen (Vergrößern mit Hilfe von Software).
- 30 Alternativ erlauben Rastereinheiten nach dem Stand der Technik eine einfache Korrektur durch das Bedienpersonal oder automatisiert mit Hilfe von

Software. Dies gilt natürlich insbesondere in der quantitativen Rastersondenmikroskopie. Meist interessiert jedoch nur ein Teil der Rasterfläche, so dass Korrekturen in vielen Anwendungen nicht oder nur nach einer bestimmten Anzahl von Probenbehandlungen nötig werden.

5

Große Rasterflächen zum Auffinden des Spots sind nicht nur zeitaufwendig, sondern sie können die Sonde auch unnötig negativ beeinflussen oder gar beschädigen (z.B. durch das Aufsammeln von Probenmaterial). Es interessieren auch konsistente Datensätze mit der Verwendung einer bestimmten Sonde. Insbesondere sind auch Verdrehungen/Verkippungen der Probe mit Hilfe der Erfindung stark minimiert.

10  
15  
20  
25  
In FIG 2 ist eine Ausführungsform eines erfindungsgemäßen Rastersondenmikroskops mit einem Reaktionskammermodul 29 in perspektivischer Ansicht schematisch dargestellt. Auf eine mit dem Grundrahmen 11 (nicht gezeigt) verbundene bzw. verbindbare Grundplatte 28 ist, insbesondere luftgelagert, ein verfahrbarer Messtisch 26 (xy-Stage) angeordnet. Der Messtisch 26 besteht bevorzugt aus Messing, Invar® oder einer Eisen-Nickel-Legierung mit einem kleinen Wärmeausdehnungskoeffizienten. Der Messtisch 26 (xy-Stage) umfasst Aktuatoren zur Bewegung in xy-Richtung (nicht gezeigt). In den verfahrbaren Messtisch 26 eingesetzt ist das bereits erwähnte Reaktionskammermodul 29, das hier eine im wesentlichen quaderförmige Gestalt aufweist und in seinen Abmessungen auf die Abmessungen eines ansonsten in den Messtisch 26 einsetzbaren Chuck abgestimmt sein kann.

25

Das Reaktionskammermodul 29 umfasst den im wesentlichen quaderförmigen Reaktionskammer-Grundkörper sowie eine im wesentlichen im Zentrum angeordnete, im wesentlichen zylindrisch ausgestaltete Reaktionskammer 16. Das Reaktionskammermodul 29 wird am Messtisch 26 über eine Klemmvorrichtung (nicht gezeigt) befestigt.

30  
35  
Die Größe des Volumens der Reaktionskammer hängt von der gewünschten maximalen Probengröße bzw. Probenfläche ab. Nach einem bevorzugten Aspekt der Erfindung weist die Reaktionskammer für Proben von einer Fläche von etwa 6 mm x 6 mm ein Volumen von 1 cm<sup>3</sup> und 10 cm<sup>3</sup>, vorzugsweise zwischen 2 cm<sup>3</sup> und 5 cm<sup>3</sup> auf. Vorteilhaft an der in FIG 1 gezeigten

Geometrie ist neben der Möglichkeit der flexiblen Anbringung einer Plasmaerzeugungseinrichtung das relativ große Volumen der Reaktionskammer. Störeinflüsse (Zustandsschwankungen), die die reproduzierbare Probenbehandlung behindern können, wie z.B. Druckänderungen, Flussänderungen 5 oder Änderungen der eingekoppelten Leistung, wirken sich dann weniger stark aus als durch die Wahl von einem extrem kleinen Volumen. Es ergeben sich für eine zylindrisch geformte Reaktorgeometrie und Proben mit einer Fläche von 6 mm x 6 mm bevorzugte Abmessungen. Mit einem Durchmesser von 18 mm und einer Höhe des Zylinders von 22 mm wird bei einem Ab- 10 stand der Probenoberfläche zur Innenseite der Abdeckplatte bzw. des Deckels von 2 mm ein Volumenverhältnis des sich direkt über der Probe befindlichen Volumens zum restlichen Volumen von ca. 0,1 erreicht. Das Verhältnis des sich direkt über der Probe befindlichen Volumens zur Probenoberfläche beträgt ca. 14, während das Verhältnis des gesamten Volumens zur 15 Probenoberfläche etwa 156 beträgt. Bei der Wahl größerer Proben mit einer Fläche von etwa 40 mm x 40 mm können diese Verhältnisse durch die Wahl eines größeren Durchmessers von etwa 120 mm bewerkstelligt werden.

Die Reaktionskammer 16 kann auch vorteilhaft in Rastereinheiten integriert 20 werden, die eine Öffnung (Apertur) aufweisen (xy- oder xyz-Scanner). Dazu wird das Reaktionskammermodul 29 so angepasst, dass die Reaktionskammer vorzugsweise in die Öffnung hineinreicht, um kleine Bauhöhen zu erreichen.

Innerhalb der Reaktionskammer ist, wie bereits anhand von FIG 1 erläutert, 25 der Probenträger 14 angeordnet, der eine Probe 15 trägt. Die Oberfläche der Probe 15 kann durch die im Sondenhalter 12 gehaltene Sonde 13 abgerastert werden.

Auf dem Messtisch 26 ist weiterhin eine Verschließeinrichtung 31 angeordnet, die hier konkret einen rotatorisch gelagerten Aktuator 32, einen Hebel- 30 arm 33 sowie eine bereits erwähnte Abdeckplatte 18, hier konkret in Gestalt eines Deckels umfasst. Der Aktuator 32 ist so positioniert bzw. der Hebel- arm 33 derart bemessen, dass bei Verschwenken in eine gewisse Winkelpositi- 35 on die am Hebelarm 33 angeordnete Abdeckplatte 18 über die Öffnung 17 der Reaktionskammer 16 geschwenkt werden kann und dabei die Reaktions- kammer 16 verschließt. Der Aktuator 32 lässt sich dabei schwingungsver-

meidend und reibungsarm über einen Faden 44 betätigen. Um die Abdichtung zwischen Reaktionskammer und Abdeckplatte 18 zu verbessern, kann am oberen Rand der Reaktionskammer ein O-Ring angelegt sein (nicht gezeigt). Der Aktuator 32 kann beispielsweise durch einen umlaufenden Faden 5 reibungsarm und schwingungsvermeidend betätigt werden.

Die Reaktionskammer 16 steht mit einer Plasmaerzeugungseinrichtung 22 in Wirkverbindung, die konkret die bereits erwähnte Flachspule 23 sowie einen Kondensator 30, der hier in planarer Ausführung vorliegt, umfasst.

10

In den Figuren 3a bis 3e sind verschiedene Möglichkeiten der Energieein-kopplung (Ein- und Auslass jeweils nicht gezeigt) veranschaulicht.

15 In FIG 3a ist eine bevorzugte Ausgestaltung für das Reactive-Ion-Etching (RIE) veranschaulicht. Die Abdeckplatte 18 ist hier leitfähig ausgebildet und bildet eine Elektrode 24. Am oberen Ende des Probenträgers 14 kann eine plattenförmige Elektrode 25 als Gegenelektrode ausgebildet sein, auf die die Probe 15 aufgelegt bzw. (z.B. mit einem Haftaufkleber) befestigt ist. Gestrichelt ist angedeutet, dass die Elektrode 25 auch wesentlich größer bemessen 20 oder alternativ auch am Boden der Reaktionskammer 16 vorgesehen werden kann.

25 In FIG 3b ist eine modifizierte Ausführungsform dargestellt. Hier ist die Elektrode 24 als separates Element in die Abdeckplatte 18 integriert. Die als Gegenelektrode ausgebildete Elektrode 25 kann am Boden der Reaktionskammer 16 wahlweise innerhalb der Reaktionskammer 16 oder außerhalb der Reaktionskammer 16 angeordnet sein.

30 In FIG 3c ist eine nochmals modifizierte Ausführungsform dargestellt, bei der die beiden Elektroden 24, 25 jeweils an den Wänden der Reaktionskammer, jedoch innerhalb der Reaktionskammer 16 angeordnet sind.

35 In FIG 3d ist eine nochmals modifizierte Ausführungsform veranschaulicht, in der die Elektroden 24, 25 ebenfalls an den Wänden der Reaktionskammer 16, jedoch außen an den Wänden der Reaktionskammer 16 befestigt sind.

In FIG 3e ist eine Ausführungsform zur Einkopplung von Mikrowellen in die Reaktionskammer 16 veranschaulicht. Zu diesem Zweck ist seitlich an die Reaktionskammer 16 ein Hohlleiter 34 angeordnet, an dessen gegenüberliegendem Ende eine Mikrowellenerzeugungseinrichtung 35 angeschlossen 5 ist. Die von der Mikrowellenerzeugungseinrichtung 35 erzeugten Mikrowellen werden über den Hohlleiter 34 - und optional über eine dielektrische Wand - in die Reaktionskammer 16 geführt.

10 In den Figuren 4a bis 4g sind verschiedene Ausführungsformen der Ausbildung der Reaktionskammer sowie des darin angeordneten Probenträgers beispielhaft veranschaulicht. In FIG 4a ist eine Ausführungsform veranschaulicht, bei der die Wände der Reaktionskammer 16 der zwei gegenüberliegenden Seiten ungleich hoch ausgebildet sind, was das Eintauchen des Sondenhalters 12 mit der Sonde 13 erleichtert.

15 Gleichzeitig wird eine Abdeckplatte 18 dargestellt, welche speziell auf diese abgeschrägte Ausbildung der Oberkante der Reaktionskammer 16 abgestimmt ist.

20 In FIG 4b ist eine Ausführungsform veranschaulicht, bei der die Reaktionskammer 16 entsprechend weit ausgebildet ist, so dass sich ein Problem begrenzter Eintauchtiefe nicht stellt, da der Sondenhalter 12 selbst in die Reaktionskammer 16 eintauchen könnte.

25 In FIG 4c ist eine Ausführungsform einer Reaktionskammer veranschaulicht, bei der lediglich der obere Bereich der Reaktionskammer eine derartige Erweiterung, die das Eintauchen des Sondenhalters 12 gestatten würde, veranschaulicht. Der Querschnitt der Öffnung 17 der Reaktionskammer 16 ist damit bei beiden Ausführungsformen gemäß FIG 4b und 4c größer bemessen 30 als der Querschnitt des Sondenhalters 12.

35 In den Figuren 4d bis 4g sind verschiedene Varianten zur Befestigung des Probenträgers 14 in der Reaktionskammer 16 veranschaulicht. In der Ausführungsform gemäß FIG 4d wird der generell in der Länge an die jeweilige Probe 15 angepasste Probenträger auf eine konische Anformung 36 am Boden der Reaktionskammer 16 gedrückt und so fixiert.

Bei den Ausführungsformen gemäß den Figuren 4e und 4f sind Klemmeinrichtungen 39 vorgesehen, die den auf einen Zapfen 37 (FIG 4e) aufgesetzten Probenträger 14 klemmend halten bzw. den in eine Muffe 38 (FIG 4f) eingesetzten Probenträger 14 klemmend halten.

5

In FIG 4g ist eine nochmals alternative Ausführungsform gezeigt, bei der der Probenträger 14 seitlich an den Wänden der Reaktionskammer 16 befestigt wird. Dies kann ebenfalls insbesondere klemmend erfolgen, wobei der Probenträger beispielsweise plattenförmig und mit Aussparungen versehen 10 ausgebildet sein kann. Alternativ könnte auch ein den Querschnitt der Reaktionskammer 16 überspannender Steg vorgesehen sein, der klemmend an den Wänden der Reaktionskammer 16 befestigt wird (nicht gezeigt).

15 In den Figuren 5a und 5b ist eine mögliche Ausführungsform einer bevorzugten Plasmaerzeugungseinrichtung umfassend eine Flachspule 23 veranschaulicht. FIG 5a zeigt den geometrischen Aufbau der Flachspule. In FIG 5b ist das Schaltdiagramm veranschaulicht, aus dem ersichtlich wird, dass die ersten (äußersten) beiden Spulenwicklungen als Einkoppelpule wirken und die inneren Spulen zusammen mit dem planaren oder koaxialen Kondensator 30 20 einen Schwingkreis definieren. Selbstverständlich kann diese Plasmaerzeugungseinrichtung auch unabhängig vom Einsatz in einem Rastersondenmikroskop Verwendung finden, was auch als erfindungswesentlich angesehen wird.

25 Mit einem ersten Prototyp einer Ausführungsform der Erfindung wurden bei einer Niederdruckplasmabehandlung einer Probe bei einem Verfahrweg von ca. 6 mm der Sonde 13 in z-Richtung bei einem Rastersondenmikroskop (Dimension® 3100, Firma Veeco) ein typischer Abstand zur ursprünglichen Bildmitte von ca. 40 nm pro Behandlungsschritt erreicht. Bei 13 Behandlungen 30 ist der Abstand zur ursprünglichen Bildmitte (Fehler) etwa 520 nm. Es hat sich darüber hinaus gezeigt, dass die beim Aufbau nach der vorliegenden Erfindung auftretenden äußerst geringen Repositionierungsfehler zum größten Teil aus einer gerichteten Drift resultieren, die sich durch entsprechende Offsets der Rastereinheit leicht kompensieren lassen könnten. Außerdem ist 35 der Fehler einer Kalibration zugänglich und kann automatisch kompensiert werden.

Eine vorteilhafte Weiterentwicklung zur weiteren wesentlichen Verkleinerung der Fehler ist es die Bewegung der Sonde oder der Probe in der z-Richtung nicht mit herkömmlichen Lineartischen sondern mit einem speziellen Aktuator 41 insbesondere eines Piezoaktuators zu bewerkstelligen. Verstellwege sind mit solchen Aktuatoren bereits im Millimeterbereich möglich (Model FPA-2000, Verfahrweg 2,3 mm, Firma Dynamic Structures & Materials). Mit entsprechenden Haltern kann beispielsweise der Aktuator 41 auf den Lineartisch eingeklemmt werden. Ein zweiter Halter ermöglicht nun die Befestigung der Rastereinheit am Aktuator 41 (nicht gezeigt). Hiermit lässt sich der Repositionierungsfehler auf den Nanometer bzw. den Sub-Nanometerbereich reduzieren.

## Patentansprüche

1. Rastersondenmikroskop umfassend einen Grundrahmen (11), an dem ein Sondenhalter (12) mit einer Sonde (13) sowie ein Probenträger (14) befestigt bzw. befestigbar sind,  
5 wobei Sonde (13) und Probenträger (14) relativ zueinander verfahrbar sind, um durch ein Abrastern einer auf dem Probenträger (14) angeordneten Probe (15) Informationen über die Oberfläche der Probe (15) zu gewinnen,  
10 dadurch gekennzeichnet,  
dass eine Reaktionskammer (16) am Grundrahmen (11) des Rastersondenmikroskops befestigbar ist, in der der Probenträger (14) angeordnet ist,  
15 wobei die Reaktionskammer (16) an ihrer der Sonde (13) zugewandten Seite eine Öffnung (17) aufweist, durch die die Sonde (13) in die Reaktionskammer (16) eintauchen kann.
2. Rastersondenmikroskop nach Anspruch 1,  
dadurch gekennzeichnet,  
20 dass eine Verschließeinrichtung, insbesondere eine Abdeckplatte (18) vorgesehen ist, um die Öffnung (17) nach Verbringen der Sonde (13) aus einer Messposition  $P_M$  in eine zurückgezogene Probenvorbereitungsposition  $P_V$  verschließen zu können.
- 25 3. Rastersondenmikroskop nach Anspruch 2,  
dadurch gekennzeichnet,  
dass die zurückgezogene Probenvorbereitungsposition  $P_V$  ausgehend von einer vorzugsweise beliebigen Messposition durch Verfahren der Sonde bzw. Probe ausschließlich in der zur x- und y-Richtung orthogonalen z-Richtung (senkrecht zur Oberfläche) erreichbar ist.  
30
4. Rastersondenmikroskop nach einem der Ansprüche 1 bis 3,  
dadurch gekennzeichnet,  
dass die Verfahrstrecke der Sonde (13), relativ zur Probe zwischen 1  
35 mm und 15 mm, vorzugsweise zwischen 1 mm und 6 mm, insbesondere zwischen 1 mm und 3 mm beträgt.

5. Rastersondenmikroskop nach einem der Ansprüche 1 bis 4, dadurch gekennzeichnet,  
dass die Verfahrstrecke der Sonde (13) relativ zur Probe zwischen 1 mm und 3 mm beträgt und mit einem Aktuator (41) insbesondere einem piezoelektrischen Aktuator bewerkstelligt wird.
10. 6. Rastersondenmikroskop nach Anspruch 5, dadurch gekennzeichnet,  
dass der Aktuator (41) als piezoelektrischer Aktuator (41) ausgebildet und zweckmäßigerweise zwischen einer am Grundrahmen (11) angeordneten Mikropositioniereinrichtung (42) und einer mit dem Sonnenhalter (12) verbundenen Rastereinheit (43) angeordnet ist.
15. 7. Rastersondenmikroskop nach einem der Ansprüche 1 bis 6, dadurch gekennzeichnet,  
dass die Reaktionskammer (16) weiterhin einen Einlass (20) aufweist, um fluide Medien, wie Flüssigkeiten, Gase, Partikelströme und/oder ein Plasma in die Reaktionskammer (16) einzuleiten.
20. 8. Rastersondenmikroskop nach Anspruch 7, dadurch gekennzeichnet,  
dass die Reaktionskammer (16) einen Auslass (21) aufweist, der mit einer Saugeinrichtung in Wirkverbindung steht, um Flüssigkeiten, Gase, Partikelströme und/oder Plasmen über den Einlass (20) durch die Reaktionskammer (16) hindurchzuführen.
25. 9. Rastersondenmikroskop nach einem der Ansprüche 1 bis 8, dadurch gekennzeichnet,  
dass an oder in der Reaktionskammer (16) eine Plasmaerzeugungseinrichtung (22) angeordnet ist, um innerhalb der Reaktionskammer (16) ein Plasma erzeugen zu können.
30. 10. Rastersondenmikroskop nach Anspruch 9, dadurch gekennzeichnet,  
dass die Plasmaerzeugungseinrichtung (22) zur Erzeugung eines Plasmas auf induktivem Wege ausgebildet ist.

11. Rastersondenmikroskop nach Anspruch 9 oder 10,  
dadurch gekennzeichnet,  
dass die Plasmaerzeugungseinrichtung eine Flachspule (23), bei der alle Wicklungen im wesentlichen in einer Ebene angeordnet sind und  
5 einen Kondensator (30), der radial-symmetrisch oder planar aufgebaut ist, umfasst.
12. Rastersondenmikroskop nach einem der Ansprüche 9 bis 11,  
dadurch gekennzeichnet,  
10 dass die Plasmaerzeugungseinrichtung (22) in Form einer miniaturisierten, integrierten Hochfrequenzschaltung ausgebildet und insbesondere planar aufgebaut ist.
13. Rastersondenmikroskop nach einem der Ansprüche 9 bis 12,  
dadurch gekennzeichnet,  
15 dass die Plasmaerzeugungseinrichtung (22) mit einem Plasmamonitor-System in Wirkverbindung steht, mit Hilfe dessen die zum Zünden und/oder zum Betrieb der Plasma-Erzeugungseinrichtung (22) erforderliche Leistung gesteuert wird.
14. Rastersondenmikroskop nach einem der Ansprüche 1 bis 13,  
dadurch gekennzeichnet,  
20 dass an der Reaktionskammer (16) mindestens zwei gegenpolige Elektroden (24, 25) vorgesehen sind, um einen kapazitiven Energieeintrag zu erwirken.
15. Rastersondenmikroskop nach einem der Ansprüche 1 bis 14,  
dadurch gekennzeichnet,  
25 dass die Reaktionskammer (16) ein Volumen zwischen 1 cm<sup>3</sup> und 10 cm<sup>3</sup>, vorzugsweise zwischen 2 cm<sup>3</sup> und 5 cm<sup>3</sup> aufweist.
16. Rastersondenmikroskop nach einem der Ansprüche 1 bis 14,  
dadurch gekennzeichnet,  
30 dass die Reaktionskammer (16), insbesondere zur Behandlung größerer Proben mit einer Fläche von beispielsweise 40 mm x 40 mm ein Volumen von 10 cm<sup>3</sup> bis 300 cm<sup>3</sup> aufweist.

17. Rastersondenmikroskop nach einem der Ansprüche 1 bis 16, dadurch gekennzeichnet, dass ein Leiter (26) in die Reaktionskammer (16) geführt ist oder führbar ist zur Kontaktierung der Probe (15).  
5
18. Reaktionskammermodul zum Einbau in ein Rastersondenmikroskop mit den Merkmalen nach einem der Ansprüche 1 bis 17.
19. Reaktionskammermodul nach Anspruch 18, dadurch gekennzeichnet, dass das Reaktionskammermodul (29) im wesentlichen aus der Reaktionskammer (16) selbst besteht.  
10
20. Reaktionskammermodul nach Anspruch 18, dadurch gekennzeichnet, dass das Reaktionskammermodul (29) einen Reaktionskammer-Grundkörper (27) sowie eine Reaktionskammer (16) umfasst.  
15
21. Reaktionskammermodul nach Anspruch 20, dadurch gekennzeichnet, dass das Reaktionskammermodul (29), insbesondere als Austauschmodul für einen Chuck, in einen in Untersuchungsebene (xy-Ebene) verfahrbaren Messtisch (26) einsetzbar ist.  
20
22. Verfahren zur Behandlung und Untersuchung von Oberflächen mit Hilfe einer Sonde (13) eines Rastersondenmikroskops und einer in das Rastersondenmikroskop eingebauten Reaktionskammer (16) umfassend die folgenden Schritte:  
25  
30
  - Durchführen einer ersten rastersondenmäßigen Untersuchung eines Bereiches einer Oberfläche einer in einer geöffneten Reaktionskammer (16) angeordneten Probe (15),
  - Zurückziehen der Sonde (13) in einer zur Oberfläche senkrechten Richtung um eine definierte Verfahrstrecke S aus ihrer Messposition  $P_M$  in eine Probenvorbereitungsposition  $P_V$ ,
  - Behandlung der Oberfläche innerhalb der Reaktionskammer (16) durch zielgerichtete Einwirkung einer Flüssigkeit, eines Gases, ei-  
35

nes Partikelstromes und/oder eines Plasmas über eine vorbestimmte Reaktionszeit,

- Rückführen der Sonde (13) aus der Probenvorbereitungsposition  $P_V$  in die vorhergehende Messposition  $P_M$  bzw. in eine neue Ausgangsposition  $P_A$  in unmittelbarer Nachbarschaft zur vorherigen Messposition.

23. Verfahren nach Anspruch 22,  
dadurch gekennzeichnet,

10 dass die relative Verfahrung zwischen Sonde (13) und Probe (15) so bewerkstelligt wird, dass vorhergehende Messposition  $P_M$  und neue Ausgangsposition  $P_A$  weniger als 400 nm, vorzugsweise weniger als 200 nm, insbesondere weniger als 150 nm beabstandet sind.

15 24. Verfahren nach Anspruch 22,  
dadurch gekennzeichnet,  
dass die vorhergehende Messposition  $P_M$  und neue Ausgangsposition  
 $P_A$  weniger als 0,1 %, vorzugsweise weniger als 0,006 % der Verfahr-  
strecke  $S$  auseinanderliegen.

20

25. Verfahren nach einem der Ansprüche 22 bis 24,  
dadurch gekennzeichnet,  
dass vor Behandlung der Oberfläche die Reaktionskammer (16) ver-  
schlossen und vor Rückführung der Sonde (13) erneut geöffnet wird,  
um das Eintauchen der Sonde (13) in die Reaktionskammer (16) zu  
ermöglichen.

25

26. Verfahren nach einem der Ansprüche 22 bis 25,  
dadurch gekennzeichnet,  
30 dass ein Plasma im Volumen der Reaktionskammer oder in einer Nebenkammer mit vergleichbar großem Volumen, insbesondere in einem Volumen von  $1 \text{ cm}^3$  bis  $10 \text{ cm}^3$  gezündet und betrieben wird.

### Bezugszeichenliste

- 11 Grundrahmen
- 12 Sondenhalter
- 5 13 Sonde
- 14 Probenträger
- 15 Probe
- 16 Reaktionskammer
- 17 Öffnung
- 10 18 Abdeckplatte
- 20 Einlass
- 21 Auslass
- 22 Plasmaerzeugungseinrichtung
- 23 Flachspule
- 15 24 Elektrode
- 25 Elektrode
- 26 Messtisch (xy-Stage)
- 27 Reaktionskammer-Grundkörper
- 28 Grundplatte (Grundrahmen)
- 20 29 Reaktionskammermodul
- 30 Kondensator
- 31 Verschließeinrichtung
- 32 Aktuator
- 33 Hebelarm
- 25 34 Hohlleiter
- 35 Mikrowellenerzeugungseinrichtung
- 36 konische Anformung
- 37 Zapfen
- 38 Muffe
- 30 39 Klemmeinrichtungen
- 41 Aktuator (Piezo-Aktuator)
- 42 Mikropositioniereinrichtung
- 43 Rastereinheit
- 44 Faden

### **Zusammenfassung**

Die Erfindung betrifft ein Rastersondenmikroskop, welches einen Grundrahmen umfasst, dem ein Sondenhalter mit einer Sonde sowie ein Probenträger befestigt bzw. befestigbar sind. Die Sonde ist relativ zum Probenträger in x- und y-Richtung verfahrbar, um durch ein Abrastern einer Probe Informationen über die Oberfläche der Probe zu gewinnen. Weiterhin ist vorgesehen, dass eine Reaktionskammer am Grundrahmen des Rastersondenmikroskops befestigbar ist, in der der Probenträger angeordnet ist, wobei die Reaktionskammer an ihrer der Sonde zugewandten Seite eine Öffnung aufweist, durch die die Sonde in die Reaktionskammer eintauchen kann. Neben einer Vielzahl möglicher Probebehandlungen ist eine Plasmabehandlung mit Hilfe einer Plasmaerzeugungseinrichtung möglich.

15 (FIG 1)

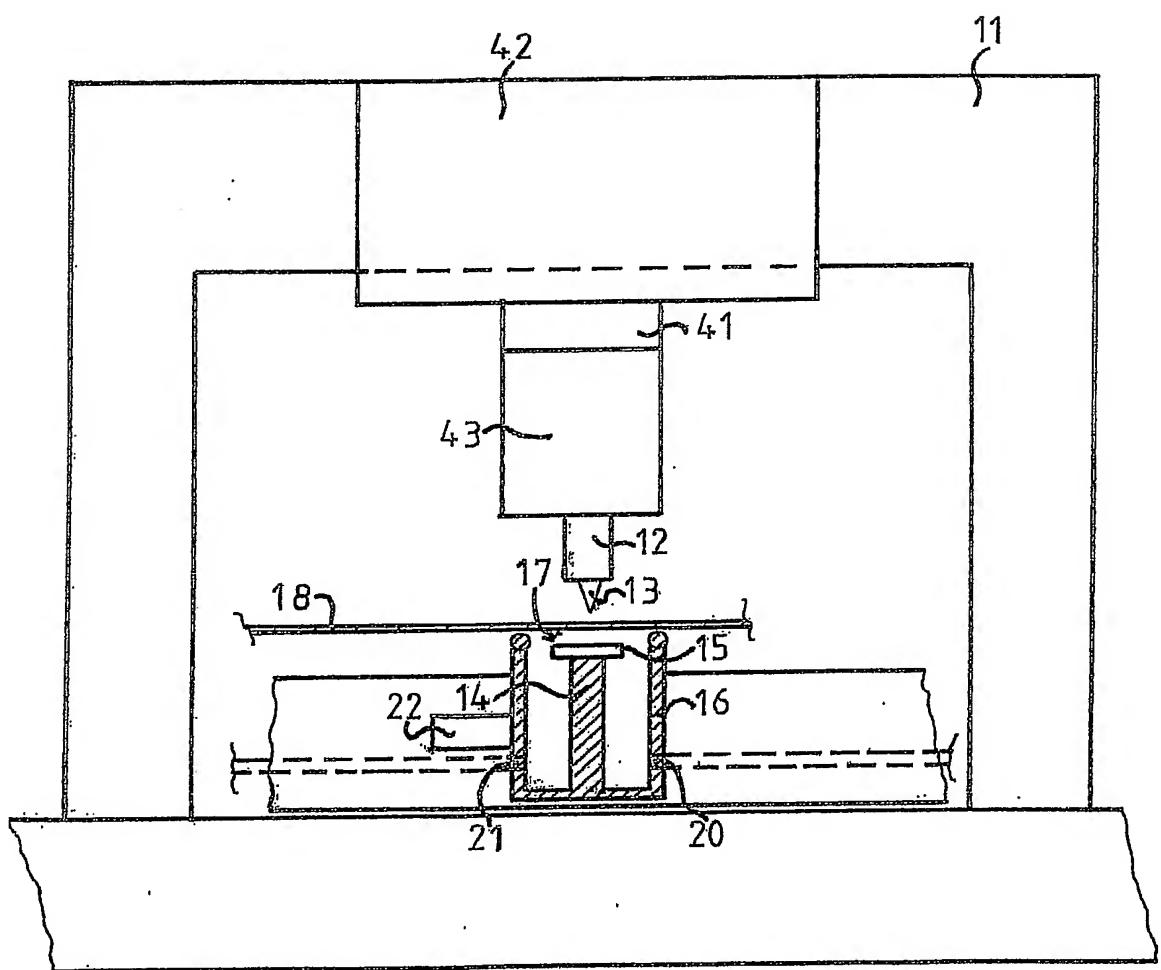


Fig. 1

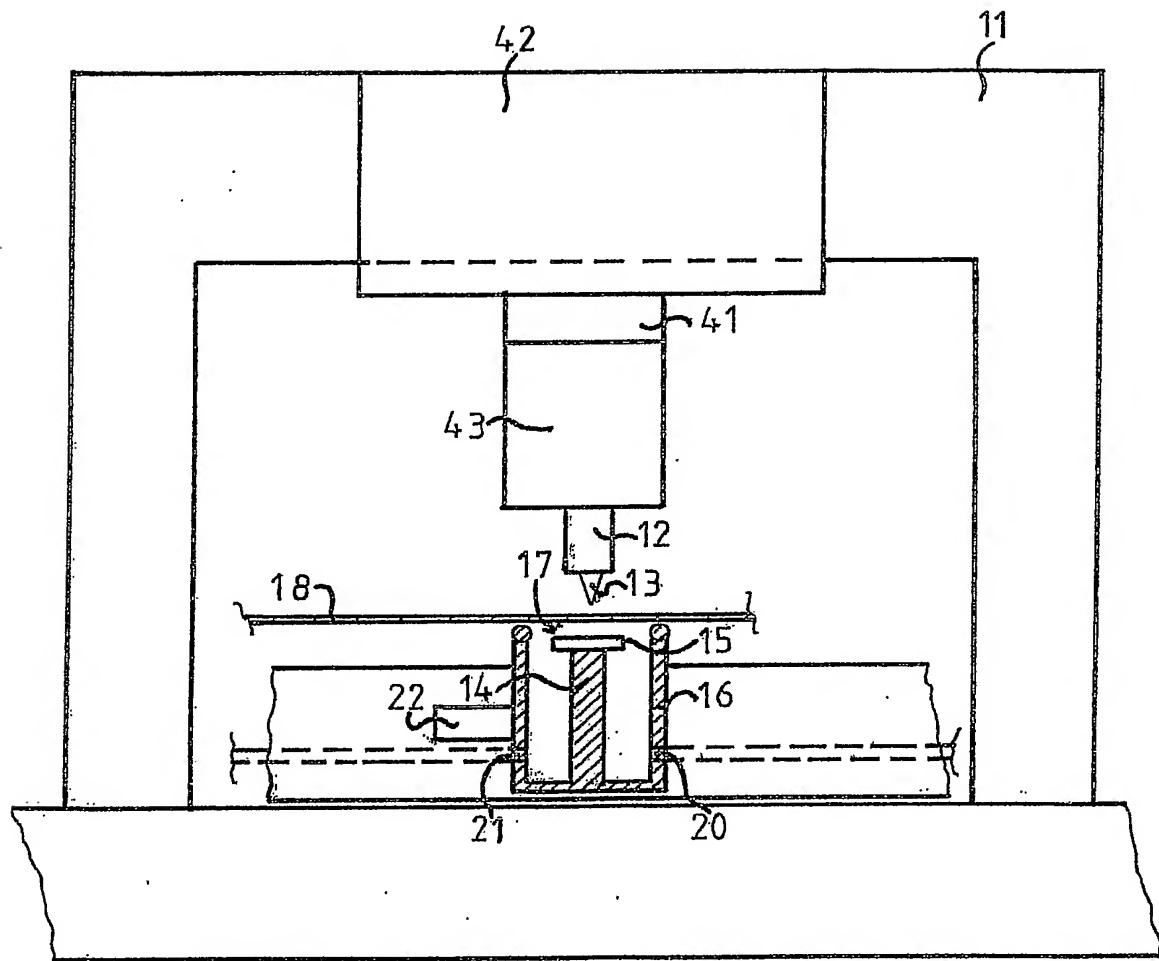
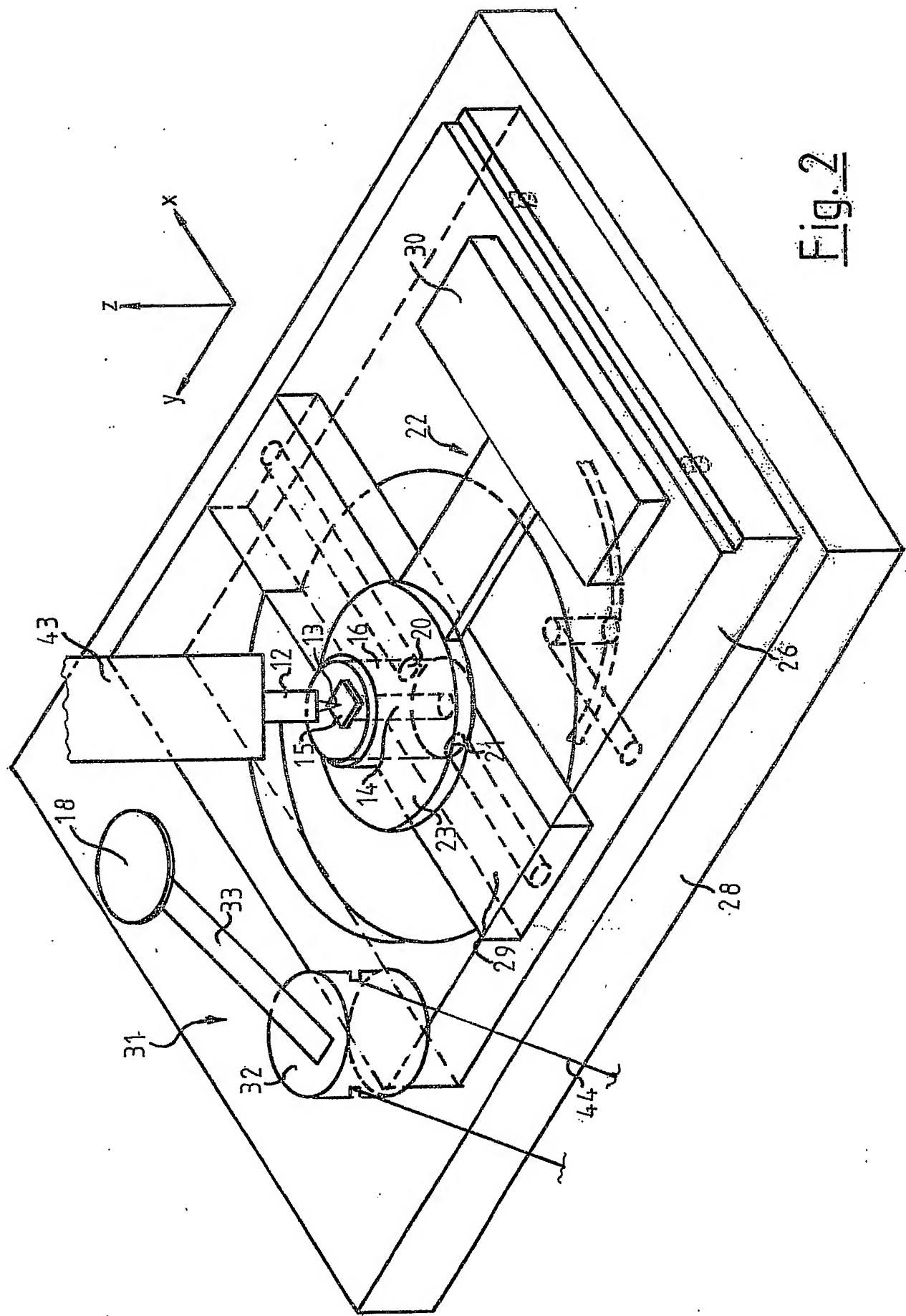


Fig. 1

Fig. 2



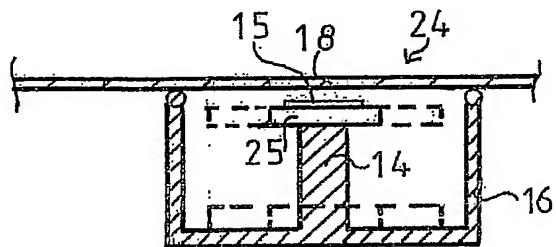


Fig. 3a

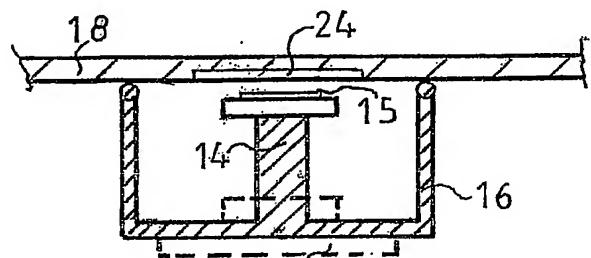


Fig. 3b

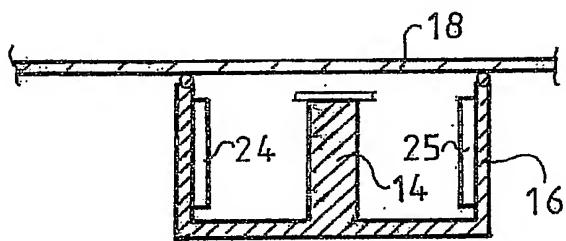


Fig. 3c

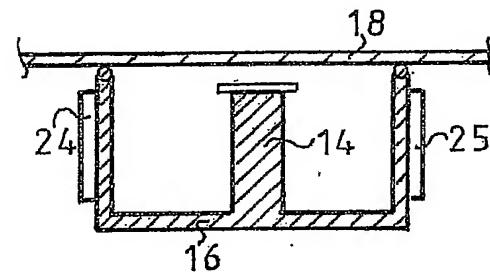


Fig. 3d

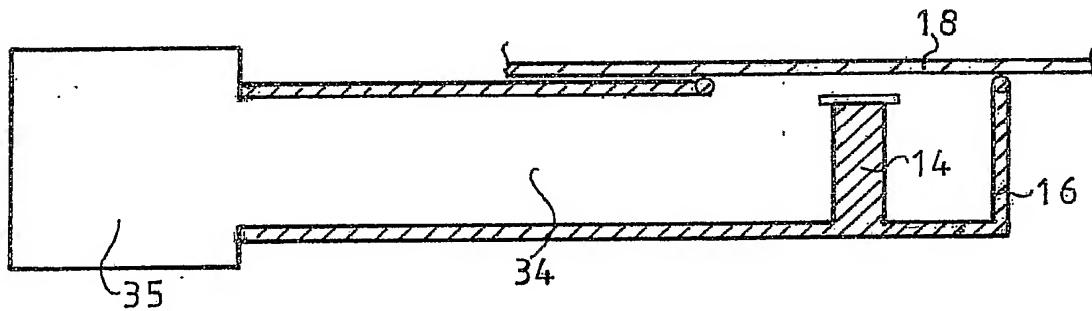


Fig. 3e

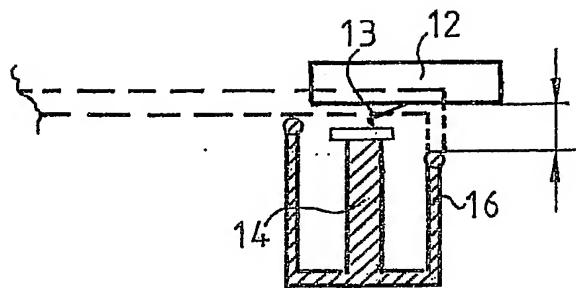


Fig. 4a

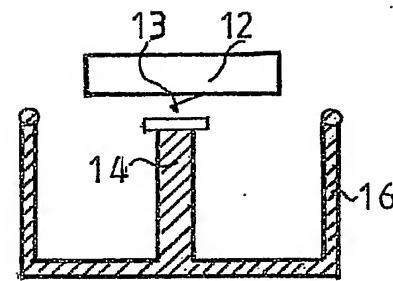


Fig. 4b

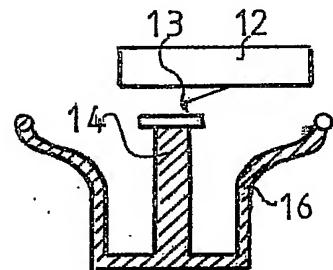


Fig. 4c

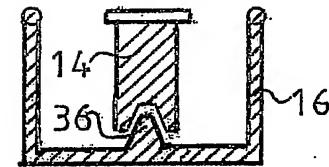


Fig. 4d

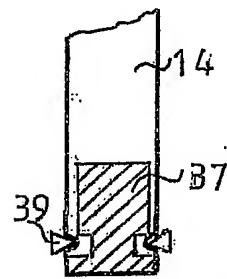


Fig. 4e

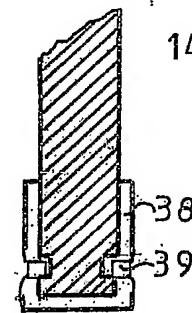


Fig. 4f

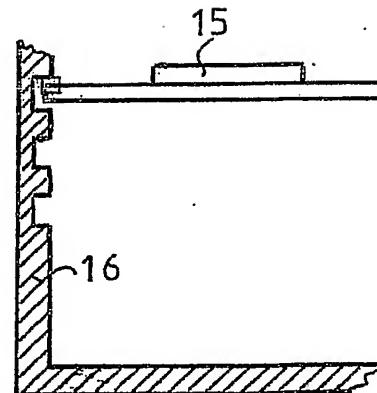


Fig. 4g

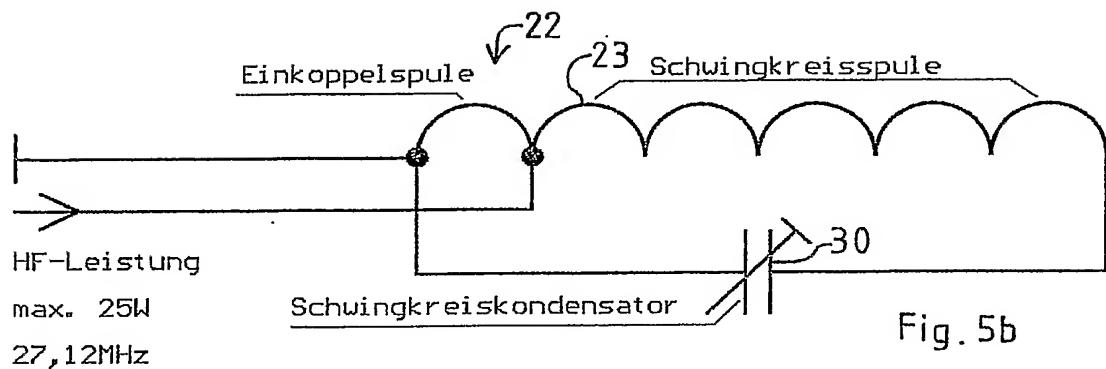


Fig. 5b

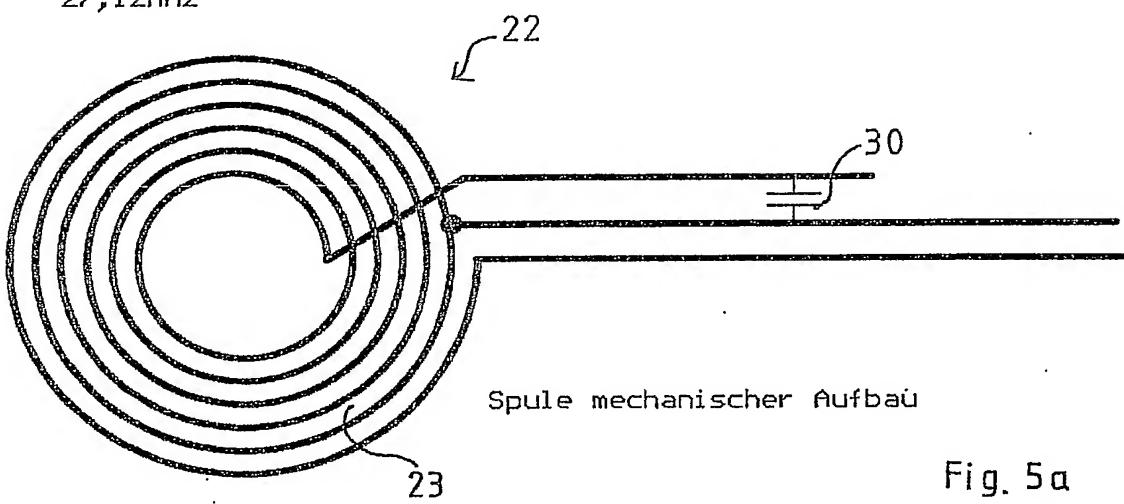


Fig. 5a